

COLLOIDAL SUSPENSION OF SUBMICRONIC PARTICLES FOR DELIVERING ACTIVE PRINCIPLES AND METHOD FOR PREPARING SAME

Publication number: FR2838964

Publication date: 2003-10-31

Inventor: CAILLOL SYLVAIN; MEYRUEIX REMI; BRYSON NATHAN; SOUM ALAIN; SOULA GERARD; MINGOTAUD ANNE FRANCOISE

Applicant: FLAMEL TECH SA (FR)

Classification:

- **International:** A61K47/42; A61K8/04; A61K8/64; A61K8/72; A61K8/88; A61K9/10; A61K9/51; A61K38/28; A61Q19/00; C08G81/00; C08J3/14; A61K47/42; A61K8/04; A61K8/30; A61K8/72; A61K9/10; A61K9/51; A61K38/28; A61Q19/00; C08G81/00; C08J3/12; (IPC1-7); A61K9/14

- **European:** A61K8/88; A61K8/04H; A61K9/51; A61Q19/00; C08G81/00; C08J3/14; Y01N2/00

Application number: FR20020005312 20020426

Priority number(s): FR20020005312 20020426

Also published as:

WO03090727 (A1)
EP1511471 (A1)
US2007190162 (A1)
EP1511471 (A0)
CA2482932 (A1)

[more >>](#)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for FR2838964

Abstract of corresponding document: **WO03090727**

The invention concerns a suspension of particles for delivering active principles, in particular proteins. Said particles are based on a diblock copolymer consisting of a neutral hydrophobic alpha hydroxy carboxylic acid polymer block and a hydrophilic linear polyaminoacid block with peptide alpha chaining, at least partly ionized. Said alpha hydroxy carboxylic acid polymer/ linear polyaminoacid delivery particles spontaneously obtainable in the absence of surfactant can be stable. Said delivery particles are capable of being associated undissolved in colloidal suspension with at least an active principle and of delayed or prolonged release thereof. The invention also concerns a powdery solid from which are derived the delivery particles and the preparation of said solid and said delivery particle suspension.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 838 964

(21) N° d'enregistrement national :

02 05312

(51) Int Cl⁷ : A 61 K 9/14

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 26.04.02.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : FLAMEL TECHNOLOGIES Société
anonyme — FR.

(43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 31.10.03 Bulletin 03/44.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du
présent fascicule

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(72) Inventeur(s) : CAILLOL SYLVAIN, MEYRUEIX REMI,
BRYSON NATHAN, SOUM ALAIN, SOULA GERARD
et MINGOTAUD ANNE FRANCOISE.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

(54) **SUSPENSION COLLOIDALE DE PARTICULES SUBMICRONIQUES DE VECTORISATION DE PRINCIPES ACTIFS ET LEUR MODE DE PREPARATION.**

(57) L'invention concerne une suspension de particules de vectorisation (PV) de principes actifs (PA) en particulier de protéines. Ces PV sont à base d'un copolymère dibloc formé d'un bloc de Polymère d'Acide Alpha HydroxyCarboxylique (PAHC) neutre hydrophobe et d'un bloc de polyaminoacide (s) linéaire (s) hydrophile (s) à enchaînement alpha peptidique polyAAI, ionisés au moins en partie. Ces PV PAHC/ polyAAI peuvent être obtenues spontanément en l'absence de tensioactif et être stables. Ces PV sont aptes à s'associer en suspension colloïdale à l'état non dissous avec au moins un PA et à libérer celui ci de façon retardée ou prolongée. L'invention vise également un solide pulvérulent à partir duquel sont issues les PV, ainsi que la préparation de ce solide et de cette suspension de PV.

FR 2 838 964 - A1



**SUSPENSION COLLOIDALE DE PARTICULES SUBMICRONIQUES DE
VECTORISATION DE PRINCIPES ACTIFS ET LEUR MODE DE
PREPARATION**

Le domaine de la présente invention est celui des Particules de Vectorisation (PV),
5 utiles pour l'administration de principes actifs (PA). Ces derniers sont, de préférence, des médicaments ou des nutriments pour l'administration à un organisme animal ou humain par voie orale ou nasale, vaginale, oculaire, sous-cutanée, intraveineuse, intramusculaire, intradermique, intrapéritonéale, intracérébrale, parentérale, etc... En terme de nature chimique, les PA plus particulièrement mais non limitativement concernés par l'invention
10 sont hydrophiles ou amphiphiles, par exemple, des protéines, des glycoprotéines, des peptides, des polysaccharides, des lipopolysaccharides, des polynucléotides et des molécules organiques.

La présente invention concerne, plus précisément, des suspensions colloïdales de Particules de Vectorisation, avantageusement de type submicronique, à base de blocs de polymères hydrophobes et de blocs de polyaminoacides hydrophiles, du type polyGlu.
15

La présente invention vise aussi bien des particules nues en tant que telles, que les systèmes de vectorisation de PA, constitués par les particules chargées par le (ou les) PA.

La présente invention a également trait à des solides pulvérulents comprenant ces PV. L'invention concerne, également, des procédés de préparation desdites suspensions colloïdales de particules, chargées en PA.
20

L'encapsulation de PA dans les PV a notamment, pour but de modifier leur durée d'action et/ou de les acheminer au lieu du traitement et/ou augmenter la biodisponibilité desdits PA. De nombreuses techniques d'encapsulation ont déjà été proposées. De telles techniques visent, d'une part, à permettre le transport du PA jusqu'à son site d'action thérapeutique, tout en le protégeant contre les agressions de l'organisme (hydrolyse, digestion enzymatique, etc.) et, d'autre part, à contrôler la libération du PA sur son site d'action, afin de maintenir la quantité disponible pour l'organisme au niveau désiré. Les PA concernés par ces avatars de transport et de séjour dans l'organisme sont, par exemple, des protéines mais peuvent être, également, des produits tout autres, des molécules organiques d'origine synthétique ou naturelle. La revue de M.J. HUMPHREY (Delivery system for peptide Drugs, éditée par S. DAVIS et L. ILLUM, Plenum Press, N.Y. 1986), fait état de la problématique concernant l'amélioration de la biodisponibilité des PA et l'intérêt des systèmes de vectorisation et de libération contrôlée.
25
30

Parmi tous les matériaux envisageables pour former des PV, les polymères sont de plus en plus utilisés, du fait de leurs propriétés intrinsèques. S'agissant du cahier des

charges que l'on souhaite obtenir pour les **PV**, il est particulièrement exigeant et comprend, notamment, les spécifications suivantes.

- 1 La première spécification recherchée serait que les **PV** auraient avantage à pouvoir former, sans l'aide de solvant organique et/ou de tensioactif, une suspension aqueuse stable
5
- 2 Il est souhaitable que les **PV** et les systèmes **PV-PA** puissent être obtenus par un procédé non dénaturant pour le **PA**.
- 3 Une autre spécification recherchée serait que le polymère constituant les **PV**, soit biocompatible, éliminable (par excrétion) et/ou biodégradable et, encore 10 mieux, qu'il soit métabolisé en produits non toxiques pour l'organisme. En outre, il conviendrait que la biodégradation dans l'organisme soit d'une durée suffisamment courte.
- 4 Il serait également souhaitable que les **PV** aient une taille suffisamment faible pour pouvoir subir, en suspension dans un liquide, une filtration stérilisante 15 par un filtre dont le diamètre des pores est inférieur ou égal à 0,2 µm.
- 5 Les **PV** devraient, avantageusement, permettre de contrôler la vitesse de libération du **PA**.
- 6 Une autre spécification importante serait que les systèmes **PV-PA** puissent constituer d'excellents médicaments injectables. Cette aptitude améliorée de 20 l'administration par injection - e.g. intraveineuse, sous-cutanée ou intramusculaire – « injectabilité » se caractérise par :
 - (i) un volume injecté réduit (pour une dose thérapeutique donnée),
 - (ii) une viscosité faible.Ces deux propriétés sont satisfaites lorsque la dose thérapeutique de **PA** est 25 associée à une quantité minimale de **PV**. En d'autres termes, les **PV** doivent avoir un fort taux de chargement en **PA**.
- 7 Le coût propre aux **PV** dans une préparation injectable doit être réduit et là encore il convient que les **PV** aient un fort taux de chargement en **PA**. En définitive, la faible taille et un fort taux de chargement sont des spécifications 30 majeures recherchées pour les **PV**.
- 8 Il est également avantageux que le polymère, constitutif des **PV**, n'indue pas de réponse immunitaire.
- 9 Pour la famille de **PA** hydrophiles et amphiphiles, en particulier les protéines, il conviendrait d'avoir des **PV** qui soient adaptés à cette famille de **PA** en 35 termes de facilité d'association et de libération et en termes de caractère non dénaturant.

Les propositions techniques antérieures, décrites infra, ont tenté de satisfaire l'ensemble de ces spécifications. A titre d'illustration, on citera les propositions antérieures (a) à (j) :

5 (a) Le brevet US-A-5 286 495 concerne un procédé d'encapsulation par vaporisation de protéines en phase aqueuse, à l'aide de matériaux ayant des charges opposées, à savoir : l'alginate (chargé négativement) et la polylysine (chargée positivement). Ce procédé de fabrication permet de produire des particules de taille supérieure à 35 µm.

10 (b) Par ailleurs, les techniques d'émulsion sont couramment utilisées pour préparer des microparticules chargées de **PA**. Par exemple, les demandes de brevets WO 91/06286, WO 91/06287 et WO 89/08449 divulguent de telles techniques d'émulsion dans lesquelles on a recours à des solvants organiques pour solubiliser des polymères, par exemple de type polylactique. Mais il s'est avéré que les solvants peuvent être dénaturants, notamment pour les **PA** peptidiques ou polypeptidiques.

15 (c) On connaît, également, des **PV** biocompatibles appelées protéinoïdes, décrites dès 1970 par X. FOX et K. DOSE dans « Molecular Evolution and the origin of Life », Ed. Marcel DEKKER Inc (1977). Ainsi, la demande de brevet WO 88/01213 propose un système à base d'un mélange de polypeptides synthétiques, dont la solubilité dépend du pH. Pour obtenir les microparticules matricielles selon cette invention, ils solubilisent le mélange de polypeptides, puis avec un changement de pH, ils provoquent la précipitation de particules protéinoïdes. Lorsque la précipitation s'effectue en présence d'un **PA**, celui-ci est encapsulé dans la particule.

20 (d) On mentionnera également, pour mémoire, le brevet US 4 351 337 qui relève d'un domaine différent de celui de la vectorisation de **PA** propre à l'invention. Ce brevet divulgue des implants massiques fixés et localisés à des endroits bien précis de l'organisme. Ces implants sont des tubes ou des capsules creuses de taille microscopique (160 µm et de longueur égale à 2 000 µm), constitués de copolymères de copoly(aminoacides) – e.g. poly(acide glutamique-leucine) ou poly(benzylglutamate-leucine) – obtenus par copolymérisation de monomères de N-carboxyanhydrides d'aminoacides (NCA). L'inclusion d'un **PA** s'opère par une technique d'évaporation de solvant d'un mélange de polymère et de **PA**. Le brevet US 4 450 150 appartient à la même famille que le brevet US 4 351 337 étudié

25

30

35

ci-dessus et a essentiellement le même objet. Les PAA constitutifs sont des poly(acide glutamique-éthylglutamate).

5 (e) La demande de brevet PCT WO 97/02810 divulgue une composition pour la libération contrôlée de principes actifs, comprenant une pluralité de particules lamellaires d'un polymère biodégradable, au moins en partie cristallin (polymère d'acide lactique) et d'un PA absorbé sur lesdites particules. Dans ce cas, la libération du principe actif s'opère par désorption.

10 (f) La demande de brevet PCT WO 96/29991 a pour objet des particules de polyaminoacides utiles pour la vectorisation de PA dont notamment des PA hydrophiles tels que l'insuline. Ces particules ont une taille comprise entre 10 et 500 nm. Les particules selon le WO 96/29991 se forment spontanément par mise en contact de PAA avec une solution aqueuse. Les PAA comprennent des monomères aminoacides neutres et hydrophobes AAO et des monomères ionisables et hydrophiles AAI.

20 Ces particules peuvent être chargées en insuline, au mieux à hauteur de 6,5 % en poids sec d'insuline par rapport à la masse de PAA. Le taux de chargement, Ta, est mesuré selon un mode opératoire Ma décrit plus loin.

25 (g) La demande de brevet EP 0 583 955 (US-B 5 449 513) divulgue des micelles polymère capables de piéger physiquement des PA hydrophobes. Ces micelles sont constituées par des copolymères bloc : PEG/polyAANO, AANO = Amino-Acide Neutre hydrophobe. L'AANO peut être : Leu, Val, Phe, Bz-O-Glu, Bz-O-Asp, ce dernier étant préféré. Les principes actifs PA hydrophobes piégés dans ces micelles PEG/polyAANO sont e.g. : Adriamycine, indométhacine, daunomycine, methotrexate, mitomycine.

30 (h) Le brevet US N° 5 514 380 divulgue un copolymère comprenant un bloc de polymère d'acide lactique et un bloc de polyoxyde d'éthylène (PEG), utile comme matrice pour la libération de médicaments. Il n'est pas question de microparticules réalisées à partir de ce copolymère.

(i) On connaît par ailleurs de nombreuses publications qui décrivent des particules à base de copolymères PEG/polymère d'acide lactique (PAL), pour la libération prolongée de principes actifs, dont notamment :

5 - *Biomaterials* 17 (1996) 1575-1581, Vittaz et al,

- *Polym.Adv.Technol.* 10, 647-654 (1999), Kinn et al.

Dans ces particules copoly(PEG)(PAL), le PA est encapsulé physiquement dans le cœur de PAL par codissolution dans un solvant organique du PA et du copoly-(PEG)(PAL). Il en résulte que les PA formés par des protéines pourraient difficilement être encapsulés dans ces particules copoly(PEG)(PAL) car les risques de dénaturation du PA sont importants.

10

(j) L'article *Biomaterials* 19(1998) 1501-1505 / K.E. GONSALVES *et al* décrit des microparticules (diamètre = 200 nm) de copolymère poly(L-lactique)(Asp) et de copolymère poly(L-lactique)(Ser). Ces particules copoly(PAL)(PAA)

15 - PAA = PolyAminoAcide- sont obtenues sous forme d'émulsion par agitation mécanique d'une solution aqueuse d'Alcool Poly Vinylique (APV) stabilisante (tensioactif) et une solution organique (CH_2Cl_2) de copoly(PAL)(PAA). Ces particules sphériques creuses sont stabilisées grâce au tensioactif APV, qui forme une couche externe, la couche interne étant constituée du copoly(PAL)(PAA). Ces particules nécessitent pour exister l'usage du tensioactif stabilisant APV. Il n'est pas question d'ionisation au moins partielle du PAA. En outre, les auteurs supputent que ces particules copoly (PAL) (PAA) pourraient être utilisées pour la libération contrôlée de médicaments. Cette supposition n'est étayée par aucune expérience technique. Cet article ne divulgue pas de suspension colloïdale stable comprenant ces microparticules, et encore moins une quelconque aptitude de ces dernières à s'associer en suspension colloïdale à l'état non dissous, avec au moins un principe actif.

20

25

Il ressort de ce qui précède que les propositions techniques antérieures sus décrivées, 30 satisfont incomplètement aux spécifications du cahier des charges indiqué supra, et, en particulier pour ce qui concerne l'association des particules à des principes actifs (en particulier les protéines) ainsi que l'aptitude de ces particules chargées en PA à libérer ces derniers *in vivo* sans qu'ils n'aient été altérés par la vectorisation.

Dans cet état de fait, un objectif essentiel est de pouvoir fournir de nouvelles PV 35 qui forment spontanément, et sans l'aide de tensioactifs, des suspensions aqueuses stables

(aux pH physiologiques) de **PV** et adaptées à la vectorisation de **PA** (notamment des **PA** sensibles tels que des protéines).

Un autre objectif essentiel de la présente invention est de fournir de nouvelles **PV** en suspension aqueuse colloïdale stable ou sous forme pulvérulente et à base de poly(aminoacides) (PAA), ces nouvelles **PV** se devant de satisfaire au mieux aux spécifications 1 à 9 du cahier des charges susvisé.

Un autre objectif essentiel de l'invention est de fournir une suspension nouvelle de **PV** dont on maîtrise parfaitement les caractéristiques, notamment en termes du taux de chargement en **PA** et en termes de contrôle de cinétique de libération du **PA**.

Un autre objectif essentiel de l'invention est de fournir des suspensions médicamenteuses injectables. Les spécifications, requises pour de telles suspensions, sont un faible volume d'injection et une faible viscosité. Il importe que la masse de particules colloïdales par dose d'injection soit la plus faible possible et ce sans limiter la quantité du principe actif **PA** transporté par ces particules, afin de ne pas nuire à l'efficacité thérapeutique.

Un autre objectif essentiel de l'invention est de fournir une suspension colloïdale aqueuse ou un solide pulvérulent comprenant des particules de vectorisation de principes actifs satisfaisant aux spécifications visées ci-dessus et qui constitue une forme galénique appropriée et convenable pour une administration, par exemple orale, à l'homme ou l'animal.

Un autre objectif essentiel de l'invention est de fournir une suspension colloïdale comprenant des particules de vectorisation de principes actifs filtrables sur des filtres de 0,2 µm à des fins de stérilisation.

Un autre objectif essentiel de l'invention est de proposer un procédé de préparation de particules (sèches ou en suspension dans un liquide) de blocs PAA hydrophobe/polymère hydrophile utiles, notamment, comme vecteurs de principes actifs (notamment protéines telles que l'insuline, l'IFN, l'IL-2, le facteur VIII, l'EPO, etc), ledit procédé se devant d'être, plus simple à mettre en œuvre, non dénaturant pour les principes actifs et devant en outre toujours permettre une maîtrise fine de la granulométrie moyenne des particules obtenues.

Un autre objectif essentiel de l'invention est l'utilisation des susdites particules en suspension aqueuse ou sous forme solide pour la préparation de médicaments (e.g. vaccins), en particulier pour administration notamment orale, nasale, vaginale, oculaire, sous-cutanée, intraveineuse, intramusculaire, intradermique, intrapéritonéale, intracérébrale ou parentérale, les principes actifs hydrophiles de ces médicaments pouvant

être, notamment, des protéines, des glycoprotéines, des peptides, des polysaccharides, des lipopolysaccharides, des oligonucléotides et des polynucléotides.

Un autre objectif de la présente invention est de fournir un médicament, du type système à libération prolongée de principes actifs, qui soit aisé et économique à produire et qui soit, en outre, biocompatible et apte à assurer un très haut niveau de biodisponibilité du PA.

Les objectifs relatifs aux produits (parmi d'autres) sont atteints par la présente invention qui concerne, tout d'abord, une suspension colloïdale de particules submicroniques susceptibles d'être utilisées, notamment pour la vectorisation de PA, ces particules étant des arrangements supramoléculaires individualisés, à base d'un copolymère amphiphile comprenant :

- ▶ au moins un bloc de polyaminoacide(s) (PAA) linéaire(s), hydrophile(s) à enchaînements α -peptidiques, les aminoacides hydrophiles AAI constitutifs de ce bloc PAA étant identiques ou différents entre eux ;
- ▶ et au moins un bloc d'au moins un polymère hydrophobe, formé par un Polymère d'Acide α -HydroxyCarboxylique (PAHC) – de préférence Polymère d'Acide Lactique (PAL) ou Polymère d'Acide Glycolique (PAG) – caractérisée en ce que :
 - elle peut être obtenue spontanément en l'absence de tensioactif, par mise en présence de copolymère amphiphile avec un liquide non-solvant des AAI ;
 - elle est stable même en l'absence de tensioactif ;
 - les AAI du copolymère sont au moins partiellement sous forme ionisée ;
 - les particules sont aptes à s'associer en suspension colloïdale à l'état non dissous, avec au moins un PA et à libérer celui-ci, notamment *in vivo*, de manière prolongée et/ou retardée.

L'un des fondements inventifs de ces nouvelles particules de vectorisation PV, en suspension aqueuse colloïdale stable aux pH physiologiques ou à l'état de solide pulvérulent, tient à la sélection originale d'un copolymère bloc (polymère d'acide(s) α -hydroxycarboxylique(s) hydrophobe) / (polyaminoacide hydrophile) permettant d'obtenir des particules de taille submicronique, qui forment une suspension colloïdale (de préférence aqueuse) stable à tous pH physiologiques, en l'absence de tensioactifs qui soient adaptés à tous pH.

Le fait que ces microparticules (PAHC)(PAA) aient au moins une partie de leurs AAI sous forme ionisée en suspension, constitue également une caractéristique innovante.

Un autre avantage remarquable de ces particules submicroniques tient à leur capacité à permettre l'adsorption à leur surface de PA, en suspension colloïdale à l'état non dissous, et donc en l'absence de tout solvant organique ou tensioactif agressif. Ce type d'association est à distinguer des processus d'encapsulation physique de PA en solution, 5 dans des cœurs de microparticules. De telles conditions d'encapsulation sont dénaturantes pour certains PA. Il n'en est rien s'agissant des microparticules selon l'invention.

En outre, il est particulièrement surprenant et inattendu que les particules à base de copolymère bloc amphiphile *poly(AAI)/(polylactide et/ou glycolide et/ou caprolactone)*, puissent s'associer et libérer *in vivo* des PA, en particulier des protéines.

10 La structure des copolymères bloc PAHC/PolyAAI et la nature des acides aminés AAI, sont choisies de telle façon que :

- les chaînes de polymères se structurent spontanément sous forme de particules (PV) de petite taille;
- les particules forment une suspension colloïdale stable dans l'eau et en milieu physiologique (pH=6-8) ;
- les PV s'associent à l'état colloïdal non dissous avec des protéines ou autres PA en milieu aqueux, par un mécanisme spontané et non dénaturant pour le PA ;
- les PV libèrent les PA en milieu physiologique et, plus précisément, *in vivo* ;

15 la cinétique de libération est fonction de la nature du copolymère PAHC/PolyAAI précurseur des PV.

20

Ainsi, en jouant sur la structure particulière du copolymère, on peut contrôler les phénomènes d'association et de libération du PA sur le plan cinétique et quantitatif.

De préférence, la suspension est caractérisée en ce qu'elle est obtenue par mise en 25 solution du copolymère amphiphile dans un solvant organique et mis en présence de cette solution avec un liquide aqueux.

Pour définir un peu plus les copolymères constitutifs des particules, on peut indiquer qu'ils sont du type séquentiel alterné (blocs).

30 Ainsi, selon une forme préférée de réalisation des PV selon l'invention :

- les AAI sont des acides aminés hydrophiles AAI ;
- le rapport AHC/AAI est supérieur à 0,1 ;
- la longueur absolue du bloc PAHC est supérieure à 2 monomères, de préférence supérieure à 10 monomères; et plus préférentiellement comprise 35 entre 20 et 100 monomères.

Dans la présente demande, on entend par AHC, un monomère constitutif du PAHC.

Avantageusement, le ou les blocs PAA à base d'AAI en comprennent au moins 5, 5 de préférence au moins 20, et plus préférentiellement encore au moins 30 et 100.

De manière plus préférée encore, les particules sont des "diblocs" de PAHC/AAI.

Le ou les AAI est(sont) choisi(s) parmi des aminoacides à chaîne latérale ionisable, 10 les aminoacides naturels Glu et Asp sous forme carboxylique et/ou sous forme de sels étant particulièrement préférés.

Les PAA blocs constitutifs de particules ont, par exemple, des degrés de polymérisation DP compris entre 30 et 600, de préférence entre 50 et 200 et, plus 15 préférentiellement encore, entre 60 et 150.

La présente invention vise, non seulement des suspensions de particules nues, telles que définies ci-dessus, mais également des particules comprenant au moins un principe actif **PA** de préférence, la suspension selon l'invention est aqueuse et stable. Ces 20 particules, chargées ou non en **PA**, sont, avantageusement, sous forme dispersée dans un liquide (suspension), de préférence aqueux, mais peuvent également être à l'état de solide pulvérulent, obtenu à partir de la suspension de **PV** telle que définie ci-dessus.

D'où il s'ensuit que l'invention concerne, outre une suspension colloïdale (de 25 préférence aqueuse) de **PV**, un solide pulvérulent comprenant des **PV** et obtenu à partir de la suspension selon l'invention.

Un autre objet essentiel de l'invention se rapporte à la préparation des particules sélectionnées (telles que décrites ci-avant), aussi bien sous forme de suspension colloïdale 30 que sous forme de solide pulvérulent. Le procédé de préparation considéré consiste, essentiellement, à synthétiser des copolymères PAHC/polyAAI précurseur et à les transformer en particules structurées.

Plus précisément, il s'agit, tout d'abord, d'un procédé de préparation du solide 35 pulvérulent susvisé et formé par des particules submicroniques susceptibles d'être

utilisées, notamment pour la vectorisation de principe(s) actif(s) (PA), ces particules étant des arrangements supramoléculaires individualisés :

- à base d'un copolymère amphiphile comprenant :
 - ✓ au moins un bloc de polyaminoacide(s) (PAA) linéaire(s), hydrophile(s) à enchaînements α -peptidiques, les aminoacides hydrophiles AAI constitutifs de ce bloc PAA étant identiques ou différents entre eux ;
 - ✓ et au moins un bloc de polymère(s) hydrophobe(s) à base de Polymère(s) d'Acide(s) α -HydroxyCarboxylique(s) (PAHC) – de préférence Polymère(s) d'Acide Lactique(PAL)ou Polymère(s) d'Acide Glycolique (PAG) - ;
- aptes à former une suspension colloïdale, même en l'absence de tensioactifs ;
- aptes à s'associer en suspension colloïdale à l'état non dissous, avec au moins un PA et à libérer celui-ci, notamment in vivo, de manière prolongée et/ou retardée.

15

Ce procédé est caractérisé en ce que :

- 1)- on met en œuvre ou on prépare par polymérisation de monomères d'acide(s) α -hydroxycarboxylique(s)-de préférence acide lactique ou glycolique- au moins un bloc polymère PAHC (de préférence de PAL ou PAG); ce bloc PAHC étant fonctionnalisé (avantageusement à au moins l'une de ses extrémités) par au moins un groupement réactif protecteur, de préférence choisi dans le groupe comprenant la BOC-éthanolamine, BOC-aminopropanol, (BOC = ButOxyCarbonyle) ;
- 2)- on déprotège le bloc polymère PAHC de l'étape -1)- ;
- 3)- on réalise une copolymérisation de monomères formés par des anhydrides de N-CarboxyAminoacides (NCA) d'amino-acides hydrophiles AAI et/ou par des anhydrides de N-CarboxyAminoacides (NCA) précurseurs d'amino-acides hydrophiles AAI et porteurs de groupements protecteurs, en présence d'au moins un solvant organique, de préférence choisi dans le groupe comprenant : la N-MéthylPyrrolidone (NMP), le DiMéthylFormamide (DMF), le DiMéthylsulfOxyde (DMSO), le DiMéthylAcétamide (DMAc), la pyrrolidone et le dichlorométhane ; ce dernier étant plus particulièrement préféré ;

-4)- on ajoute le bloc polymère PAHC déprotégé de l'étape -2)- au milieu de polymérisation du bloc de poly-AAI, avant, pendant ou après la polymérisation;

5 -5)- éventuellement on déprotège les précurseurs d'amino-acides hydrophiles AAI pour obtenir un ou plusieurs blocs polyAAI ;

10 -6)- on précipite le copolymère bloc PAHC-polyAAI obtenu à l'issue des étapes précédentes ;

15 -7)- on met en solution le précipité de copolymère bloc PAHC-polyAAI obtenu à l'étape -6)- et on met en présence cette solution avec un liquide contenant au moins un non-solvant du copolymère bloc PAHC-polyAAI, de préférence l'eau, ce liquide ayant un pH choisi de telle sorte que les AAI du copolymère bloc PAHC-polyAAI soient au moins en partie ionisés ;

20 -8)- éventuellement on associe au moins un principe actif **PA** hydrophile avec les particules ;

25 -9)- éventuellement on purifie la suspension de l'étape -7)- ;

 -10)- éventuellement on concentre la suspension de l'étape -7)- ;

 -11)- on élimine le milieu liquide pour recueillir le solide pulvérulent comprenant les particules.

Avantageusement, les PAHC de l'étape -1)- sont obtenus de manière connue en soi par polymérisation de lactide, de glycolide, ou de caprolactone, ou bien encore sont des produits commerciaux disponibles (polylactide, polylactide/glycolide, polycaprolactone e.g.).

Des procédés d'obtention de ces PAHC sont décrits par exemple dans les brevets suivants : US 4 835 293, US 5 023 349, FR 2 692 263.

35 La déprotection selon l'étape -2)- s'effectue de manière connue en soi, par exemple par hydrolyse acide (e.g. acide trifluoroacétique).

La troisième étape du procédé s'inspire des techniques connues de polymérisation d'anhydrides de N-carboxy-(-aminoacides (NCA), décrites, par exemple, dans l'article « Biopolymers, 15, 1869 (1976) » et dans l'ouvrage de H.R. KRICHELDORF " (-Aminoacid-N-carboxy Anhydride and Related Heterocycles » Springer Verlag (1987)".

5

De préférence, le ou les bloc(s) PAHC fonctionnalisé(s) est (sont) introduit(s) avant et/ou au début de la polymérisation selon l'étape -3)-, qui se déroule de préférence à une température comprise entre 20 et 120°C à pression atmosphérique normale.

10

Avantageusement, cette étape -3)- est réalisée en présence d'au moins un co-solvant sélectionné parmi les solvants aprotiques (de préférence le dioxane-1,4) et/ou les solvants protiques (de préférence la pyrrolidone) et/ou l'eau et/ou les alcools, le méthanol étant particulièrement préféré.

15

De manière plus préférée encore, les NCA-AAI sont des NCA d'acide glutamique ou aspartique O-alkylé ou O-arylé, par exemple des NCA-Glu-O-Me, NCA-Glu-O-Et ou NCA-Glu-O-Bz (Me = méthyle / Et = éthyle / Bz = benzyle).

20

D'autres paramètres expérimentaux, comme :

25

- la concentration en NCA et/ou en polymère bloc PAHC dans le solvant organique (de préférence le dichlorométhane) ;
- et/ou la concentration ou la nature de l'éventuel cosolvant, lors de la synthèse ;
- la température du mélange réactionnel ;
- le mode d'ajout du polymère hydrophile ;
- l'emploi de pression réduite ;
- la durée de la réaction, etc... ;

sont ajustés selon les effets désirés et bien connus de l'homme de l'art.

30

Suivant une variante dans laquelle le procédé est interrompu à l'issue d'une étape -5bis)- succédant à l'issue de l'étape -5)-, on précipite – de préférence dans l'eau – le copolymère PAHC-polyAAI obtenu et on recueille ce précipité. Cette variante correspond à un mode discontinu de préparation de particules, dans lequel on isole le copolymère PAHC-polyAAI sous forme de précipité formant un produit intermédiaire stable. Ce précipité peut être, par exemple, filtré, lavé et séché.

Pour effectuer l'association de l'étape -8)- d'un ou plusieurs **PA** aux particules, il est possible de mettre en œuvre plusieurs méthodes conformément à l'invention.

Des exemples, non limitatifs, de ces méthodes sont énumérés ci-après.

5

Selon une première méthode, on effectue l'association de **PA** aux particules par mise en présence d'une phase liquide (aqueuse ou non) contenant le **PA** avec la suspension colloïdale de particules.

10

Selon une deuxième méthode, on effectue l'association du **PA** aux particules par mise en présence d'un **PA** à l'état solide avec la suspension colloïdale de particules. Le **PA** solide peut être, par exemple, sous forme de lyophilisat, de précipité, de poudre ou autre.

15

Selon une troisième méthode, on met en présence le solide pulvérulent (polylactide/polyAAI), tel que décrit supra en tant que produit et par ses caractéristiques d'obtention, avec une phase liquide (aqueuse ou non) contenant le **PA**.

20

Selon une quatrième méthode, on met en présence le solide pulvérulent, tel que décrit supra en tant que produit et par ses caractéristiques d'obtention, avec le **PA** sous forme solide. On disperse ensuite ce mélange de solides, dans une phase liquide, de préférence une solution aqueuse.

Dans toutes ces méthodes, le **PA** utilisé peut être sous forme pure ou préformulée.

25

Conformément à l'étape facultative -9)-, on élimine les impuretés (sels) ainsi que le solvant, par tout traitement de séparation physique approprié, par exemple par diafiltration (dialyse), filtration, modification pH, chromatographie...

30

Cela conduit à une suspension (de préférence aqueuse) de particules structurées qui peut être concentrée [étape -10)-], par exemple par distillation ou tout autre moyen physique convenable : ultrafiltration, centrifugation.

35

Pour séparer à l'étape -11)-, les particules de leur milieu liquide de suspension, on élimine, éventuellement, la phase aqueuse, par exemple par séchage (e.g. à l'étuve), par lyophilisation ou tout autre moyen physique convenable : ultrafiltration, centrifugation. On récupère, à l'issue de cette étape -11)-, un solide pulvérulent, de couleur blanche.

Il est à noter que la mise en œuvre des étapes -1)-, -2)-, -3)-, -4)-, -5)-, -6)-, -7)-, et éventuellement -8)- du procédé ci-dessus correspondent à une préparation d'une suspension colloïdale de particules submicroniques et à fort taux de chargement en **PA**.

5 Lors de cette préparation de suspension colloïdale, les copolymères amphiphiles polylactide et/ou polyglycolide et/ou polycaprolactone-poly(AAI) de l'étape -6)- sont placés dans un milieu aqueux dans lequel au moins une partie des PAHC est soluble et au moins une partie des AANO est insoluble. Les copolymères PAHC/polyAAI existent sous forme de nanoparticules dans ce milieu aqueux.

10 Une alternative pour préparer la suspension de **PV** selon l'invention consiste à mettre en présence le solide pulvérulent, tel que décrit ci-dessus en tant que produit et par son procédé d'obtention, avec un milieu aqueux, non-solvant des AAI.

15 Compte tenu de la taille nanométrique des particules, la suspension peut être filtrée sur des filtres de stérilisation, ce qui permet d'obtenir, aisément et à moindre coût, des liquides médicamenteux injectables stériles. Le fait de pouvoir, grâce à l'invention, faire subir à la suspension de particules une filtration stérilisante, est un atout important.

20 La présente invention vise, également, de nouveaux produits intermédiaires du procédé décrit ci-dessus, caractérisés en ce qu'ils sont constitués par des copolymères PAHC-polyAAI précurseurs de particules.

25 Selon un autre de ses aspects, l'invention concerne une suspension et/ou un solide pulvérulent, tels que définis ci-dessus et/ou tels qu'obtenus par le procédé présenté supra, cette suspension et ce solide comprenant au moins un principe actif hydrophile, choisi, de préférence, parmi :

- les vaccins ;
- les protéines et/ou les peptides, parmi lesquels les plus préférentiellement retenus sont : les hémoglobines, les cytochromes, les albumines, les interférons, les cytokines, les antigènes, les anticorps, l'érythropoïétine, l'insuline, les hormones de croissance, les facteurs VIII et IX, les interleukines ou leurs mélanges, les facteurs stimulants de l'hématopoïèse ;
- les polysaccharides, l'héparine étant plus particulièrement sélectionnée ;
- les acides nucléiques et, préférablement, les oligonucléotides d'ARN et/ou d'ADN,

- des molécules non peptido-protéiques appartenant à diverses classes de chimiothérapie anticancéreuses et, en particulier, les anthracyclines et les taxoïdes ;
- et leurs mélanges.

5

Enfin, l'invention concerne une spécialité pharmaceutique, nutritionnelle, phytosanitaire ou cosmétique, caractérisée en ce qu'elle comporte une suspension et/ou du solide pulvérulent chargé(s) en **PA** hydrophile et tels que définis ci-dessus.

10 Selon un autre de ses objets, l'invention vise, également, l'utilisation de ces **PV** (en suspension ou sous forme solide) chargées en **PA**, pour la fabrication de médicaments du type systèmes à libération contrôlée de **PA**.

15 Il peut s'agir, par exemple de ceux administrables, de préférence par voie orale, nasale, vaginale, oculaire, sous-cutanée, intraveineuse, intramusculaire, intradermique, intrapéritonéale, intracérébrale ou parentérale.

20 Les applications cosmétiques envisageables sont, par exemple, les compositions comprenant un **PA** associé aux **PV** selon l'invention et applicables par voie transdermique.

Enfin, l'invention concerne une spécialité pharmaceutique, nutritionnelle, phytosanitaire ou cosmétique, caractérisée en ce qu'elle comporte une suspension et/ou du solide pulvérulent chargé(s) en **PA** et tels que définis ci-dessus.

25

Selon un autre de ses objets, l'invention vise, également, l'utilisation de ces **PV** (en suspension ou sous forme solide) chargées en **PA**, pour la fabrication de médicaments du type systèmes à libération contrôlée de **PA**.

30 Dans le cas de médicaments, il peut s'agir, par exemple de ceux administrables, de préférence par voie orale, nasale, vaginale, oculaire, sous-cutanée, intraveineuse, intramusculaire, intradermique, intrapéritonéale, intracérébrale ou parentérale.

Les applications cosmétiques envisageables sont, par exemple, les compositions comprenant un PA associé aux PV selon l'invention et applicables par voie transdermique.

5 Les produits phytosanitaires concernés peuvent être, par exemple, des herbicides, des pesticides, des insecticides, des fongicides, etc...

10 Les exemples qui suivent permettront de mieux comprendre l'invention dans ses différents aspects produit/procédé/application. Ces exemples illustrent la préparation de particules de polylactide/PAAI chargés ou non en principes actifs, de même qu'ils présentent les caractéristiques de structure et les propriétés de ces particules.

DESCRIPTION DES FIGURES

15

Figure 1 :

Isotherme d'adsorption de l'insuline (9,3mg/ml) sur la dispersion de nanoparticules de l'exemple 8.

20

Figure 2 :

Profils d'insulinémie et de glycémie chez le cochon sain après administration d'une dose de 0,6 IU/kg d'insuline adsorbée sur les particules de l'exemple 7.

25

EXEMPLES :

La synthèse des copolymères blocs se déroule en quatre grandes étapes :

1. polymérisation du lactide avec un amorceur bifonctionnel protégé ;
2. déprotection de l'amorceur lié au polymère;
3. polymérisation du second monomère sur la fonction déprotégée de l'amorceur ;
4. déprotection des groupements protecteurs sur le second monomère.

Exemple 1 : poly(acide lactique)₂₀-bloc-(acide glutamique)₅₀

1.1 BOC-aminopropyl-poly(acide lactique)₂₀ : L-lactide (5 g, 34,70 mmol, Aldrich 16101-127) et toluène distillé (27ml) sont introduits dans un ballon sec et sous azote. On chauffe une heure à 80°C. Dans un second ballon on prépare un mélange de t-butoxycarbonyl-aminopropanol (0,58 g, 3,30 mmol, Fluka 381029/1) et de toluène fraîchement distillé (23ml), qui est refroidi à -10°C. Après l'ajout du diéthylzinc (1,5 ml, 1,65 mmol, 1,1 M dans le toluène, Aldrich 72560-099) au BOC-aminopropanol, on permet à ce que cette réaction revient à température ambiante, puis on l'ajoute sur le monomère lactide pour initier la polymérisation. La polymérisation est terminée par un ajout de 4ml d'acide acétique en solution dans le toluène (10 %). Le milieu réactionnel est alors concentré à l'évaporateur rotatif et précipité dans un large excès de méthanol. Le polymère est récupéré par filtration puis séché sous vide. Rendement : 98 %. *Caractérisations* : Tg : 30-37°C. RMN ¹H (CDCl₃) : δ = 1,4 ppm (s, 9H, CCH₃), 1,55 ppm (d, 6H, ³J=7,1Hz, CHCH₃), 1,85 ppm (q, 2H, ³J=6,3Hz, CH₂CH₂CH₂), 3,1 ppm (q, 2H, ³J=6,2Hz, CH₂NH), 4,15 ppm (t, 2H, ³J=6,0Hz, CH₂O), 4,35 ppm (q, 1H, ³J=6,9Hz, CH₃CHOH), 4,8 ppm (m, 1H, NH), 5,15 ppm (q, 2H, ³J=7,1Hz, CHCH₃). RMN ¹³C (CDCl₃) : δ = 17 ppm (2C, CHCH₃), 20,7 ppm (1C, CH₃CHOH), 28,7 ppm (3C, CH₃C), 29,5 ppm (CH₂CH₂CH₂), 37,5 ppm (CH₂NH), 63,5 ppm (CH₂O), 67 ppm (CH₃CHOH), 69,5 ppm (2C, CH), 156 ppm (NHC=O), 170 ppm (CHC(O)O).

1.2 aminopropyl-poly(acide lactique)₂₀: Du polylactide (4g, 2,65mmol) et le dichlorométhane distillé (45ml) sont introduits sous courant d'azote dans un ballon. On introduit l'acide trifluoroacétique (8ml, 0,1mol, Sigma 19H3648) et on place la solution sous agitation à température ambiante pendant une demi-heure, jusqu'à ce que le dégagement de CO₂ soit terminé. On évapore les solvants du milieu réactionnel à l'évaporateur rotatif. On ajoute 40ml de dichlorométhane et la solution est lavée deux fois par 40ml de NaHCO₃ en solution aqueuse (5%) puis deux fois par 40ml d'eau distillée jusqu'à ce que le pH des eaux de lavage soit neutre. La phase organique est séchée sur MgSO₄ puis filtrée. Le solvant est évaporé à l'évaporateur rotatif, puis le polymère est séché sous vide. Rendement : 95%. *Caractérisations* : RMN ¹H (CDCl₃) : δ = 1,55 ppm (d, 6H, ³J=7,1Hz, CH₃), 1,85 ppm (q, 2H, ³J=6,3Hz, CH₂CH₂CH₂), 2,8 ppm (q, 2H, ³J=6,2Hz, CH₂NH₂), 4,15 ppm (t, 2H, ³J=6,0Hz, CH₂O), 4,35 ppm (q, 1H, ³J=6,9Hz, CH₃CHOH), 5,15 ppm (q, 2H, ³J=7,1Hz, CH).

1.3 poly(benzyl glutamate)₅₀-propyl-poly(acide lactique)₂₀: Du N-carboxyanhydride de L-glutamate de benzyle (8,68g, 33,0 mmol) est introduit dans un ballon. Le polylactide déprotégé (1g, 0,66 mmol) est solubilisé dans du dichlorométhane fraîchement distillé (40ml) puis introduit par canule. Le milieu réactionnel est placé sous agitation magnétique pendant trois heures à température ambiante. Le solvant est évaporé au rotavapor puis le polymère est séché sous vide primaire. Rendement: 85%. *Caractérisations* : RMN ¹H (TFA d) : δ = 1,55 ppm (m, 6H, CH₃), 1,95 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 2,35 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 4,60 ppm (m, 1H, O=CCHNH), 5,0 ppm (m, 2H, CH), 5,25 ppm (m, 2H, CH₂Ph), 7,10 ppm (m, 5H, Ph). RMN ¹³C (DMSO d6) : δ = 17 ppm (CH₃), 27 ppm (CH₂CH₂COO), 30 ppm (CH₂CH₂COO), 52 ppm (O=CCHNH), 66 ppm (CH₂Ph), 128-136 ppm (Ph), 168-170 ppm (OC=O), 172 ppm (NC=O).

1.4 poly(acide glutamique)₅₀-propyl-poly(acide lactique)₂₀: Le copolymère (5g, 20mmol d'ester de benzyle) est introduit dans un ballon et solubilisé dans l'acide trifluoroacétique (44ml, 0,57mol) à 10°C. On introduit l'acide méthane sulfonique (44ml, 0,68mol) et l'anisole (11ml, 0,10mol) sous courant d'azote et on laisse le milieu réactionnel trois heures sous agitation. Le polymère est précipité dans un large excès d'éther éthylique froid, récupéré par filtration, lavé avec de l'éther éthylique et séché sous vide. Rendement : 99%. *Caractérisations* : RMN ¹H (TFA d) : δ = 1,55 ppm (m, 6H, CH₃), 1,95 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 2,35 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 4,60 ppm (m, 1H, O=CCHNH), 5,0 ppm (m, 2H, CH). RMN ¹³C (DMSO d6) : δ = 17 ppm (CH₃), 27 ppm (CH₂CH₂COOH), 30 ppm (CH₂CH₂COOH), 52 ppm (OCHNH), 69 ppm (CH), 168-170 ppm (O=CO), 172 ppm (O=CNH).

Exemple 2 : poly(acide lactique)₃₀-bloc-(acide glutamique)₈₀

2.1 BOC-aminopropyl-poly(acide lactique)₃₀ : Le L-lactide (5g, 34,70mmol, Aldrich 16101-127) est introduit en boîte à gants sous atmosphère d'azote dans un ballon préalablement flammé. Le toluène, fraîchement distillé (27ml) est introduit par canule dans le ballon que l'on place sous agitation magnétique pendant une heure à 80°C. Le ter-butoxycarbonyl aminopropanol (0,40g, 2,30mmol, Fluka 381029/1) et le toluène fraîchement distillé (23ml) sont introduits dans un ballon préalablement flammé et placé sous agitation magnétique dans un bain à -10°C. La solution de

diéthylzinc dans le toluène (1,0ml, 1,15mmol, 1,1M, Aldrich 72560-099) est introduite goutte-à-goutte dans cette solution. Le milieu réactionnel est alors laissé sous agitation magnétique à température ambiante. Au bout d'une heure on introduit la solution de L-lactide sous courant d'azote dans le milieu réactionnel que l'on place alors à 80°C sous agitation pendant une heure. La polymérisation est terminée par un ajout de 4ml d'acide acétique en solution dans le toluène (10%). Le milieu réactionnel est alors concentré à l'évaporateur rotatif et précipité dans un large excès de méthanol froid. Le polymère précipité est récupéré par filtration puis séché sous vide primaire. Rendement : 98%. *Caractérisations* : Tg : 30-37°C. RMN ¹H (CDCl₃) : δ = 1,4 ppm (s, 9H, CCH₃), 1,55 ppm (d, 6H, ³J=7,1Hz, CHCH₃), 1,85 ppm (q, 2H, ³J=6,3Hz, CH₂CH₂CH₂), 3,1 ppm (q, 2H, ³J=6,2Hz, CH₂NH), 4,15 ppm (t, 2H, ³J=6,0Hz, CH₂O), 4,35 ppm (q, 1H, ³J=6,9Hz, CH₃CHOH), 4,8 ppm (m, 1H, NH), 5,15 ppm (q, 2H, ³J=7,1Hz, CHCH₃). RMN ¹³C (CDCl₃) : δ = 17 ppm (2C, CHCH₃), 20,7 ppm (1C, CH₃CHOH), 28,7 ppm (3C, CH₃C), 29,5 ppm (CH₂CH₂CH₂), 37,5 ppm (CH₂NH), 63,5 ppm (CH₂O), 67 ppm (CH₃CHOH), 69,5 ppm (2C, CH), 156 ppm (NHC=O), 170 ppm (CHC(O)O).

2.2 **aminopropyl-poly(acide lactique)₃₀** : Le polylactide (4g, 1,85mmol) et le dichlorométhane fraîchement distillé (45ml) sont introduits sous courant d'azote dans un ballon préalablement flammé et relié à un bulleur. On introduit l'acide trifluoroacétique (8ml, 0,1mol, Sigma 19H3648) et on place la solution sous agitation à température ambiante pendant une demi-heure, jusqu'à ce que le dégagement de CO₂ soit terminé. On évapore les solvants du milieu réactionnel à l'évaporateur rotatif. On solubilise le polylactide dans 40ml de dichlorométhane. Cette phase organique est lavée deux fois par 40ml de NaHCO₃ en solution aqueuse (5%) puis deux fois par 40ml d'eau distillée jusqu'à ce que le pH des eaux de lavage soit neutre. La phase organique est alors séchée sur MgSO₄ puis filtrée. Le solvant est évaporé à l'évaporateur rotatif, puis le polymère est séché sous vide primaire. Rendement : 95%. *Caractérisations* : RMN ¹H (CDCl₃) : δ = 1,55 ppm (d, 6H, ³J=7,1Hz, CH₃), 1,85 ppm (q, 2H, ³J=6,3Hz, CH₂CH₂CH₂), 2,8 ppm (q, 2H, ³J=6,2Hz, CH₂NH₂), 4,15 ppm (t, 2H, ³J=6,0Hz, CH₂O), 4,35 ppm (q, 1H, ³J=6,9Hz, CH₃CHOH), 5,15 ppm (q, 2H, ³J=7,1Hz, CH).

2.3 **poly(benzyl glutamate)₈₀-propyl-poly(acide lactique)₃₀** : Du N-carboxyanhydride de L-glutamate de benzyle (9,74g, 37,0mmol) fourni par Flamel Technologies est pesé et introduit en boîte à gants sous atmosphère d'azote dans un ballon

préalablement flammé. Le polylactide déprotégé (1g, 0,46mmol) est solubilisé dans du dichlorométhane fraîchement distillé (45ml) puis introduit par canule. Le milieu réactionnel est placé sous agitation magnétique pendant trois heures à température ambiante. Le solvant est évaporé au rotavapor puis le polymère est séché sous vide primaire. Rendement : 85%. *Caractérisations* : RMN ^1H (TFA d) : $\delta = 1,55$ ppm (m, 6H, CH₃), 1,95 ppm (m, 2H, $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}=\text{O}$), 2,35 ppm (m, 2H, CH₂ $\text{CH}_2\text{C}=\text{O}$), 4,60 ppm (m, 1H, O=CCHNH), 5,0ppm (m, 2H, CH), 5,25 ppm (m, 2H, CH_2Ph), 7,10 ppm (m, 5H, Ph). RMN ^{13}C (DMSO d6) : $\delta = 17$ ppm (CH₃), 27 ppm ($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}$), 30 ppm ($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}$), 52 ppm (O=CCHNH), 66 ppm (CH_2Ph), 128-136 ppm (Ph), 168-170 ppm (OC=O), 172 ppm (NC=O).

2.4 **poly(acide glutamique)₈₀-propyl-poly(acide lactique)₃₀** : Le copolymère (5g, 20,3mmol d'ester de benzyle) est introduit sous courant d'azote dans un ballon préalablement flammé. Il est solubilisé dans l'acide trifluoroacétique (44ml, 0,57mol). La solution est alors placée sous agitation à 10°C. On introduit l'acide méthane sulfonique (44ml, 0,68mol) et l'anisole (11ml, 0,10mol) sous courant d'azote. On laisse le milieu réactionnel trois heures sous agitation à 10°C, puis on le précipite dans un large excès d'éther éthylique froid. Le polymère précipité est récupéré par filtration, lavé avec de l'éther éthylique et séché sous vide primaire. Rendement : 99%. *Caractérisations* : RMN ^1H (TFA d) : $\delta = 1,55$ ppm (m, 6H, CH₃), 1,95 ppm (m, 2H, $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}=\text{O}$), 2,35 ppm (m, 2H, CH₂ $\text{CH}_2\text{C}=\text{O}$), 4,60 ppm (m, 1H, O=CCHNH), 5,0ppm (m, 2H, CH). RMN ^{13}C (DMSO d6) : $\delta = 17$ ppm (CH₃), 27 ppm ($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$), 30 ppm ($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$), 52 ppm (OCCHNH), 69 ppm (CH), 168-170 ppm (O=CO), 172 ppm (O=CNH).

25

Exemple 3 : poly(acide lactique)₅₀-bloc-(acide glutamique)₅₀

3.1 **BOC-aminopropyl-poly(acide lactique)₅₀** : Le L-lactide (5g, 34,70mmol, Aldrich 16101-127) est pesé et introduit en boîte à gants sous atmosphère d'azote dans un ballon préalablement flammé. Le toluène, fraîchement distillé (27ml) est introduit par canule dans le ballon que l'on place sous agitation magnétique pendant une heure à 80°C. Le ter-butoxycarbonyl aminopropanol (0,24g, 1,38mmol, Fluka 381029/1) et le toluène fraîchement distillé (23ml) sont introduits dans un ballon préalablement flammé et placé sous agitation magnétique dans un bain à -10°C. La solution de diéthylzinc dans le toluène (0,63ml, 0,69mmol, 1,1M, Aldrich 72560-

099) est introduite goutte-à-goutte dans cette solution. Le milieu réactionnel est alors laissé sous agitation magnétique à température ambiante. Au bout d'une heure on introduit la solution de L-lactide sous courant d'azote dans le milieu réactionnel que l'on place alors à 80°C sous agitation pendant une heure. La polymérisation est terminée par un ajout de 4ml d'acide acétique en solution dans le toluène (10%). Le milieu réactionnel est alors concentré à l'évaporateur rotatif et précipité dans un large excès de méthanol froid. Le polymère précipité est récupéré par filtration puis séché sous vide primaire. Rendement : 98%. *Caractérisations* : Tg : 30-37°C. RMN ¹H (CDCl₃) : δ = 1,4 ppm (s, 9H, CCH₃), 1,55 ppm (d, 6H, ³J=7,1Hz, CHCH₃), 1,85 ppm (q, 2H, ³J=6,3Hz, CH₂CH₂CH₂), 3,1 ppm (q, 2H, ³J=6,2Hz, CH₂NH), 4,15 ppm (t, 2H, ³J=6,0Hz, CH₂O), 4,35 ppm (q, 1H, ³J=6,9Hz, CH₃CHOH), 4,8 ppm (m, 1H, NH), 5,15 ppm (q, 2H, ³J=7,1Hz, CHCH₃). RMN ¹³C (CDCl₃) : δ = 17 ppm (2C, CHCH₃), 20,7 ppm (1C, CH₃CHOH), 28,7 ppm (3C, CH₃C), 29,5 ppm (CH₂CH₂CH₂), 37,5 ppm (CH₂NH), 63,5 ppm (CH₂O), 67 ppm (CH₃CHOH), 69,5 ppm (2C, CH), 156 ppm (NHC=O), 170 ppm (CHC(O)O).

3.2 **aminopropyl-poly(acide lactique)₅₀** : Le polylactide (4g, 1,11mmol) et le dichlorométhane fraîchement distillé (45ml) sont introduits sous courant d'azote dans un ballon préalablement flammé et relié à un bulleur. On introduit l'acide trifluoroacétique (8ml, 0,1mol, Sigma 19H3648) et on place la solution sous agitation à température ambiante pendant une demi-heure, jusqu'à ce que le dégagement de CO₂ soit terminé. On évapore les solvants du milieu réactionnel à l'évaporateur rotatif. On solubilise le polylactide dans 40ml de dichlorométhane. Cette phase organique est lavée deux fois par 40ml de NaHCO₃ en solution aqueuse (5%) puis deux fois par 40ml d'eau distillée jusqu'à ce que le pH des eaux de lavage soit neutre. La phase organique est alors séchée sur MgSO₄ puis filtrée. Le solvant est évaporé à l'évaporateur rotatif, puis le polymère est séché sous vide primaire. Rendement : 95%. *Caractérisations* : RMN ¹H (CDCl₃) : δ = 1,55 ppm (d, 6H, ³J=7,1Hz, CH₃), 1,85 ppm (q, 2H, ³J=6,3Hz, CH₂CH₂CH₂), 2,8 ppm (q, 2H, ³J=6,2Hz, CH₂NH₂), 4,15 ppm (t, 2H, ³J=6,0Hz, CH₂O), 4,35 ppm (q, 1H, ³J=6,9Hz, CH₃CHOH), 5,15 ppm (q, 2H, ³J=7,1Hz, CH).

3.3 **poly(benzyl glutamate)₅₀-propyl-poly(acide lactique)₅₀** : Du N-carboxyanhydride de L-glutamate de benzyle (3,65g, 13,8mmol) est pesé et introduit en boîte à gants sous atmosphère d'azote dans un ballon préalablement flammé. Le polylactide déprotégé (1g, 0,27mmol) est solubilisé dans du dichlorométhane fraîchement

distillé (17ml) puis introduit par canule. Le milieu réactionnel est placé sous agitation magnétique pendant trois heures à température ambiante. Le solvant est évaporé au rotavapor puis le polymère est séché sous vide primaire. Rendement : 85%. *Caractérisations* : RMN ^1H (TFA d) : $\delta = 1,55$ ppm (m, 6H, CH₃), 1,95 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 2,35 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 4,60 ppm (m, 1H, O=CCHNH), 5,0 ppm (m, 2H, CH), 5,25 ppm (m, 2H, CH₂Ph), 7,10 ppm (m, 5H, Ph). RMN ^{13}C (DMSO d6) : $\delta = 17$ ppm (CH₃), 27 ppm (CH₂CH₂COO), 30 ppm (CH₂CH₂COO), 52 ppm (O=CCHNH), 66 ppm (CH₂Ph), 128-136 ppm (Ph), 168-170 ppm (OC=O), 172 ppm (NC=O).

10

3.4 poly(acide glutamique)₅₀-propyl-poly(acide lactique)₅₀: Le copolymère (3g, 10,27mmol d'ester de benzyle) est introduit sous courant d'azote dans un ballon préalablement flammé. Il est solubilisé dans l'acide trifluoroacétique ((22,5ml, 0,29mol). La solution est alors placée sous agitation à 10°C. On introduit l'acide méthane sulfonique (22,5ml, 0,35mol) et l'anisole (5,5ml, 0,05mol) sous courant d'azote. On laisse le milieu réactionnel trois heures sous agitation à 10°C, puis on le précipite dans un large excès d'éther éthylique froid. Le polymère précipité est récupéré par filtration, lavé avec de l'éther éthylique et séché sous vide primaire. Rendement : 99%. *Caractérisations* : RMN ^1H (TFA d) : $\delta = 1,55$ ppm (m, 6H, CH₃), 1,95 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 2,35 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 4,60 ppm (m, 1H, O=CCHNH), 5,0 ppm (m, 2H, CH). RMN ^{13}C (DMSO d6) : $\delta = 17$ ppm (CH₃), 27 ppm (CH₂CH₂COOH), 30 ppm (CH₂CH₂COOH), 52 ppm (OCCHNH), 69 ppm (CH), 168-170 ppm (O=CO), 172 ppm (O=CNH).

15

20

25

Exemple 4 : poly(acide lactique)₈₀-bloc-(acide glutamique)₂₀

30

35

4.1 BOC-aminopropyl-poly(acide lactique)₈₀: L-lactide (5,2g, 36,09mmol, Aldrich 16101-127) et toluène distillé (27ml) sont introduits dans un ballon sec et sous azote. On chauffe une heure à 80°C. Dans un second ballon on prépare un mélange de t-butoxycarbonyl aminopropanol (0,16g, 0,91mmol, Fluka 381029/1) et de toluène fraîchement distillé (23ml), qui est refroidi à -10°C. Après l'ajout du diéthylzinc (0,4ml, 0,44mmol, 1,1M dans le toluène, Aldrich 72560-099) au BOC-aminopropano, on permet à ce que cette réaction revient à température ambiante, puis on l'ajout sur le monomère lactide pour initier la polymérisation. La polymérisation est terminée par un ajout de 0,5ml d'acide acétique en solution

dans le toluène (10%). Le milieu réactionnel est alors concentré à l'évaporateur rotatif et précipité dans un large excès de méthanol. Le polymère est récupéré par filtration puis séché sous vide. Rendement : 98%. *Caractérisations* : Tg : 30-37°C. RMN ¹H (CDCl₃) : δ = 1,4 ppm (s, 9H, CCH₃), 1,55 ppm (d, 6H, ³J=7,1Hz, CHCH₃), 1,85 ppm (q, 2H, ³J=6,3Hz, CH₂CH₂CH₂), 3,1 ppm (q, 2H, ³J=6,2Hz, CH₂NH), 4,15 ppm (t, 2H, ³J=6,0Hz, CH₂O), 4,35 ppm (q, 1H, ³J=6,9Hz, CH₃CHOH), 4,8 ppm (m, 1H, NH), 5,15 ppm (q, 2H, ³J=7,1Hz, CHCH₃). RMN ¹³C (CDCl₃) : δ = 17 ppm (2C, CHCH₃), 20,7 ppm (1C, CH₃CHOH), 28,7 ppm (3C, CH₃C), 29,5 ppm (CH₂CH₂CH₂), 37,5 ppm (CH₂NH), 63,5 ppm (CH₂O), 67 ppm (CH₃CHOH), 69,5 ppm (2C, CH), 156 ppm (NHC=O), 170 ppm (CHC(O)O).

4.2 aminopropyl-poly(acide lactique)₈₀ : Du polylactide (4,5g, 2,98mmol) et le dichlorométhane distillé (54ml) sont introduits sous courant d'azote dans un ballon. On introduit l'acide trifluoroacétique (9ml, 0,11mol, Sigma 19H3648) et on place la solution sous agitation à température ambiante pendant une demi-heure, jusqu'à ce que le dégagement de CO₂ soit terminé. On évapore les solvants du milieu réactionnel à l'évaporateur rotatif. On ajoute 50ml de dichlorométhane et la solution est lavée deux fois par 50ml de NaHCO₃ en solution aqueuse (5%) puis deux fois par 50ml d'eau distillée jusqu'à ce que le pH des eaux de lavage soit neutre. La phase organique est séchée sur MgSO₄ puis filtrée. Le solvant est évaporé à l'évaporateur rotatif, puis le polymère est séché sous vide. Rendement : 95%. *Caractérisations* : RMN ¹H (CDCl₃) : δ = 1,55 ppm (d, 6H, ³J=7,1Hz, CH₃), 1,85 ppm (q, 2H, ³J=6,3Hz, CH₂CH₂CH₂), 2,8 ppm (q, 2H, ³J=6,2Hz, CH₂NH₂), 4,15 ppm (t, 2H, ³J=6,0Hz, CH₂O), 4,35 ppm (q, 1H, ³J=6,9Hz, CH₃CHOH), 5,15 ppm (q, 2H, ³J=7,1Hz, CH).

4.3 poly(benzyl glutamate)₂₀-propyl-poly(acide lactique)₈₀ : Le N-carboxyanhydride de L-glutamate de benzyle (2,70g, 10,26mmol) est introduit dans un ballon. Le polylactide déprotégé (3g, 1,98mmol) est solubilisé dans du dichlorométhane fraîchement distillé (15ml) puis introduit par canule. Le milieu réactionnel est placé sous agitation magnétique pendant trois heures à température ambiante. Le solvant est évaporé au rotavapor puis le polymère est séché sous vide primaire. Rendement : 85%. *Caractérisations* : RMN ¹H (TFA d) : δ = 1,55 ppm (m, 6H, CH₃), 1,95 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 2,35 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 4,60 ppm (m, 1H, O=CCH₂NH), 5,0ppm (m, 2H, CH), 5,25 ppm (m, 2H, CH₂Ph), 7,10 ppm (m, 5H, Ph). RMN ¹³C (DMSO d6) : δ = 17 ppm (CH₃), 27 ppm

(CH₂CH₂COO), 30 ppm (CH₂CH₂COO), 52 ppm (O=CCHNH), 66 ppm (CH₂Ph), 128-136 ppm (Ph), 168-170 ppm (OC=O), 172 ppm (NC=O).

5 **4.4 poly(acide glutamique)₂₀-propyl-poly(acide lactique)₈₀** : Le copolymère
10 (5,2g, 20,8mmol d'ester de benzyle) est introduit dans un ballon et solubilisé dans l'acide trifluoroacétique (22ml, 0,29mol) à 10°C. On introduit l'acide méthane sulfonique (22ml, 0,34mol) et l'anisole (5,6ml, 0,05mol) sous courant d'azote et on laisse le milieu réactionnel trois heures sous agitation à 10 °C. Le polymère est précipité dans un large excès d'éther éthylique froid, récupéré par filtration, lavé avec de l'éther éthylique et séché sous vide. Rendement : 99%. *Caractérisations* : RMN ¹H (TFA d) : δ = 1,55 ppm (m, 6H, CH₃), 1,95 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 2,35 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 4,60 ppm (m, 1H, O=CCHNH), 5,0ppm (m, 2H, CH). RMN ¹³C (DMSO d6) : δ = 17 ppm (CH3), 27 ppm (CH₂CH₂COOH), 30 ppm (CH₂CH₂COOH), 52 ppm (OCCHNH), 69 ppm (CH), 168-170 ppm (O=CO), 172 ppm (O=CNH).

15

Exemple 5 : poly(acide lactique)₃₀-bloc-(acide glutamique)₁₀₀

20 **5.1 BOC-aminopropyl-poly(acide lactique)₃₀** : Le L-lactide (6g, 41,64mmol, Aldrich 16101-127) est introduit en boîte à gants sous atmosphère d'azote dans un ballon préalablement flammé. Le toluène, fraîchement distillé (27ml) est introduit par canule dans le ballon que l'on place sous agitation magnétique pendant une heure à 80°C. Le ter-butoxycarbonyl aminopropanol (0,73g, 4,20mmol, Fluka 381029/1) et le toluène fraîchement distillé (23ml) sont introduits dans un ballon préalablement flammé et placé sous agitation magnétique dans un bain à -10°C. La solution de diéthylzinc dans le toluène (1,9ml, 2,19mmol, 1,1M, Aldrich 72560-099) est introduite goutte-à-goutte dans cette solution. Le milieu réactionnel est alors laissé sous agitation magnétique à température ambiante. Au bout d'une heure on introduit la solution de L-lactide sous courant d'azote dans le milieu réactionnel que l'on place alors à 80°C sous agitation pendant une heure. La polymérisation est terminée par un ajout de 5ml d'acide acétique en solution dans le toluène (10%). Le milieu réactionnel est alors concentré à l'évaporateur rotatif et précipité dans un large excès de méthanol froid. Le polymère précipité est récupéré par filtration puis séché sous vide primaire. Rendement : 98%. *Caractérisations* : Tg : 30-37°C. RMN ¹H (CDCl₃) : δ = 1,4 ppm (s, 9H, CCH₃), 1,55 ppm (d, 6H,

25

30

35

³J=7,1Hz, CHCH₃), 1,85 ppm (q, 2H, ³J=6,3Hz, CH₂CH₂CH₂), 3,1 ppm (q, 2H, ³J=6,2Hz, CH₂NH), 4,15 ppm (t, 2H, ³J=6,0Hz, CH₂O), 4,35 ppm (q, 1H, ³J=6,9Hz, CH₃CHOH), 4,8 ppm (m, 1H, NH), 5,15 ppm (q, 2H, ³J=7,1Hz, CHCH₃). RMN ¹³C (CDCl₃) : δ = 17 ppm (2C, CHCH₃), 20,7 ppm (1C, CH₃CHOH), 28,7 ppm (3C, CH₃C), 29,5 ppm (CH₂CH₂CH₂), 37,5 ppm (CH₂NH), 63,5 ppm (CH₂O), 67 ppm (CH₃CHOH), 69,5 ppm (2C, CH), 156 ppm (NHC=O), 170 ppm (CHC(O)O).

5.2 aminopropyl-poly(acide lactique)₃₀ : Le polylactide (3g, 1,39mmol) et le dichlorométhane fraîchement distillé (36ml) sont introduits sous courant d'azote dans un ballon préalablement flammé et relié à un bulleur. On introduit l'acide trifluoroacétique (6ml, 0,08mol, Sigma 19H3648) et on place la solution sous agitation à température ambiante pendant une demi-heure, jusqu'à ce que le dégagement de CO₂ soit terminé. On évapore les solvants du milieu réactionnel à l'évaporateur rotatif. On solubilise le polylactide dans 40ml de dichlorométhane. Cette phase organique est lavée deux fois par 40ml de NaHCO₃ en solution aqueuse (5%) puis deux fois par 40ml d'eau distillée jusqu'à ce que le pH des eaux de lavage soit neutre. La phase organique est alors séchée sur MgSO₄ puis filtrée. Le solvant est évaporé à l'évaporateur rotatif, puis le polymère est séché sous vide primaire. Rendement : 97%. *Caractérisations* : RMN ¹H (CDCl₃) : δ = 1,55 ppm (d, 6H, ³J=7,1Hz, CH₃), 1,85 ppm (q, 2H, ³J=6,3Hz, CH₂CH₂CH₂), 2,8 ppm (q, 2H, ³J=6,2Hz, CH₂NH₂), 4,15 ppm (t, 2H, ³J=6,0Hz, CH₂O), 4,35 ppm (q, 1H, ³J=6,9Hz, CH₃CHOH), 5,15 ppm (q, 2H, ³J=7,1Hz, CH).

5.3 poly(benzyl glutamate)₁₀₀-propyl-poly(acide lactique)₃₀ : Le N-carboxyanhydride de L-glutamate de benzyle (33g, 125,4mmol) fourni par Flamel Technologies est pesé et introduit en boîte à gants sous atmosphère d'azote dans un ballon préalablement flammé. Le polylactide déprotégé (2,9g, 1,33mmol) est solubilisé dans du dichlorométhane fraîchement distillé (165ml) puis introduit par canule. Le milieu réactionnel est placé sous agitation magnétique pendant trois heures à température ambiante. Le solvant est évaporé au rotavapor puis le polymère est séché sous vide primaire. Rendement : 93%. *Caractérisations* : RMN ¹H (TFA d) : δ = 1,55 ppm (m, 6H, CH₃), 1,95 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 2,35 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 4,60 ppm (m, 1H, O=CCH₂NH), 5,0 ppm (m, 2H, CH), 5,25 ppm (m, 2H, CH₂Ph), 7,10 ppm (m, 5H, Ph). RMN ¹³C (DMSO d6) : δ = 17 ppm (CH₃), 27 ppm (CH₂CH₂COO), 30 ppm (CH₂CH₂COO), 52 ppm

(O=CCH₂NH), 66 ppm (CH₂Ph), 128-136 ppm (Ph), 168-170 ppm (OC=O), 172 ppm (NC=O).

5 **5.4 poly(acide glutamique)₁₀₀-propyl-poly(acide lactique)₃₀** : Le copolymère
 ballon préalablement flammé. Il est solubilisé dans l'acide trifluoroacétique
 10 (100ml, 1,30mol). La solution est alors placée sous agitation à 10°C. On introduit
 l'acide méthane sulfonique (100ml, 1,55mol) et l'anisole (25ml, 0,23mol) sous
 courant d'azote. On laisse le milieu réactionnel trois heures sous agitation à 10°C,
 15 puis on le précipite dans un large excès d'éther éthylique froid. Le polymère
 précipité est récupéré par filtration, lavé avec de l'éther éthylique et séché sous
 vide primaire. Rendement : 99%. *Caractérisations* : RMN ¹H (TFA d) : δ = 1,55
 ppm (m, 6H, CH₃), 1,95 ppm (m, 2H, CH₂CH₂C=O), 2,35 ppm (m, 2H,
 CH₂CH₂C=O), 4,60 ppm (m, 1H, O=CCH₂NH), 5,0 ppm (m, 2H, CH). RMN ¹³C
 15 (DMSO d6) : δ = 17 ppm (CH₃), 27 ppm (CH₂CH₂COOH), 30 ppm
 (CH₂CH₂COOH), 52 ppm (OCCH₂NH), 69 ppm (CH), 168-170 ppm (O=CO), 172
 ppm (O=CNH).

20 **Exemple 6 : Formation de nanoparticules à partir du polymère de l'exemple 4**
 0.5 g de poudre du polymère de l'exemple 4 sont dissous dans 20 g d'un mélange
 90/10 p/p THF/Ethanol. La solution est coulée au goutte à goutte dans 4 volumes d'une
 solution aqueuse de tampon phosphate 0.1 M. La dispersion obtenue est diffusante

25 **Exemple 7 : Mesure du diamètre hydrodynamique des nanoparticules de l'exemple 6**
 La dispersion diffusante de l'exemple 6 est diafiltrée sur une membrane BIOMAX YM
 300. Les nanoparticules se trouvent concentrées dans le rétentat. Elles sont ensuite
 dialysées à volume constant contre 800 ml d'eau faiblement tamponnée (tampon
 phosphate 2.10⁻⁴ M sans sel). Le diamètre hydrodynamique des particules, déterminé par
 diffusion de lumière dynamique, est de 240 nm.

Exemple 8 : Mesure de la quantité maximale d'insuline absorbées sur les particules de polymère de l'exemple 7

Les nanoparticules de l'exemple 7, concentrées à 10 mg/ml en conditions isotoniques à 5 pH 7,4 sont mises en contact à 25°C durant 16 heures, avec des concentrations croissantes d'insuline recombinante humaine en solution. La quantité d'insuline libre c'est à dire non adsorbée sur les nanoparticules, est déterminée par chromatographie d'exclusion stérique. A cette fin, la préparation est injectée dans une colonne TSK G4000 PWXL de TOSO HAAS. L'insuline libre est détectée par un détecteur UV AGILENT Series 1100 à 10 214 nm. On obtient ainsi l'isotherme d'adsorption de la figure 1. La valeur au plateau de cet isotherme permet de déterminer la quantité maximale, A_m , d'insuline adsorbée par unité de masse du copolymère sec. On trouve $A_m = 6\% \text{ p/p}$.

15 **Exemple 9 : Formation de nanoparticules à partir du polymère de l'exemple 5**

Le polymère de l'exemple 5 est obtenu en solution éthanolique concentrée à 26.7 g/l. Cette solution est directement coulée au goutte à goutte dans 4 volumes d'une solution aqueuse de tampon phosphate 0.1 M. La dispersion obtenue est diffusante.

20

Exemple 10 : Mesure du diamètre hydrodynamique des nanoparticules de l'exemple 9

La dispersion diffusante de l'exemple 9 est diafiltrée sur une membrane 25 BIOMAX YM 300. Les nanoparticules se trouvent concentrées dans le retentat. Elles sont ensuite dialysées à volume constant contre 800 ml d'eau faiblement tamponnée (tampon phosphate 2.10-4 M sans sel). Le diamètre hydrodynamique des particules, déterminé par diffusion de lumière dynamique est de 220 nm.

30

Exemple 11 : Mesure de la quantité maximale d'insuline absorbées sur les particules de l'exemple 10

En procédant de manière identique à l'exemple 8, on obtient l'isotherme d'adsorption de 5 l'insuline sur les nanoparticules du polymère de l'exemple 5. La valeur au plateau de cet isotherme permet de déterminer la quantité maximale, A_m , d'insuline adsorbée par unité de masse du copolymère sec. On trouve $A_m = 1\% \text{ p/p}$.

10 **Exemple 12 : Caractérisation des nanoparticules du polymère de l'exemple 3**

Les nanoparticules du copolymère de l'exemple 3 sont préparées et isolées selon le procédé exposé dans les exemples 6 et 9. Le diamètre hydrodynamique des nanoparticules, mesuré par diffusion de lumière dynamique, est de 450 nm. La quantité maximale 15 d'insuline adsorbée sur ces nanoparticules est mesurée comme exposé dans les exemples 8 et 11. On trouve : $A_m = 2,5\% \text{ p/p}$.

Exemple 13 : Formation de nanoparticules à partir du polymère de l'exemple 3

20 500 mg polymère, selon l'exemple 3, sont dissous dans 100ml de DMF en 10 min à 60°C. Cette solution est versée lentement un volume de 200ml d'éther diisopropylique à -40°C fortement agité. La solution est laissée à reposer à température ambiante pendant 2 heures puis centrifugée à 1500 tr/min pendant 20 min. Le culot est filtré sur Büchner n°4 et le 25 précipité est lavé avec de l'éther diisopropylique. Le précipité est séché sous vide de pompe à palettes.

30 **Exemple 14 : Pharmacocinétique et pharmacodynamie des PV-charges avec l'insuline chez le chien sain à jeun.**

La préparation de microparticules PAHC-poly AAI de l'exemple 7, associées à de l'insuline (Basulin®) de l'exemple 8 a été injectée à des chiens, rendus diabétiques par pancréatectomie totale, et à jeun de la veille au soir. L'administration à 11 heures du matin

par voie sous cutanée thoracique de la préparation a été faite à la posologie de 0,5 UI/kg d'insuline par Kg de poids vif de l'animal. Le volume administré est compris entre 0,18 et 0,24 ml. Au temps -4, -2, 0, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44 et 48 heures, 1 ml de sang sont prélevés par ponction jugulaire sous vide sur tube héparinate de sodium.

5 30 µl de sang total sont utilisés extemporanément pour mesure de la glycémie. Le tube est ensuite centrifugé, décanté et le plasma stocké à -20° C pour dosage de l'insuline. Les résultats présentés dans la figure 2 ci-après montrent un relargage de l'insuline jusqu'à 12 heures (trait plein) et un effet hypoglycémiant important qui se prolonge jusqu'à 20 heures (trait discontinu) après l'injection.

10 Cet exemple démontre la non-dénaturation de l'insuline en présence de PV selon l'invention.

15 De plus, cet exemple montre que les nanoparticules selon l'invention sont de PV qui peuvent être utilisées efficacement pour la libération modifiée de protéines.

REVENDICATIONS

1 - Suspension colloïdale de particules submicroniques susceptibles d'être utilisées, notamment pour la vectorisation de principe(s) actif(s) (PA), ces particules étant 5 des arrangements supramoléculaires individualisés, à base d'un copolymère amphiphile comprenant :

- ▶ au moins un bloc de polyaminoacide(s) (PAA) linéaire(s), hydrophile(s) à enchaînements α -peptidiques, les aminoacides hydrophiles AAI constitutifs de ce bloc PAA étant identiques ou différents entre eux ;
- 10 ▶ et au moins un bloc d'au moins un polymère hydrophobe, formé par un Polymère d'Acide α -HydroxyCarboxylique (PAHC) – de préférence Polymère d'Acide Lactique (PAL) ou Polymère d'Acide Glycolique (PAG) – caractérisée en ce que :
 - elle peut être obtenue spontanément en l'absence de tensioactif, par mise en 15 présence de copolymère amphiphile avec un liquide non-solvant des AAI ;
 - elle est stable même en l'absence de tensioactif ;
 - les AAI du copolymère sont au moins partiellement sous forme ionisée ;
 - les particules sont aptes à s'associer en suspension colloïdale à l'état non dissous, 20 avec au moins un PA et à libérer celui-ci, notamment *in vivo*, de manière prolongée et/ou retardée.

2°- Suspension selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle est obtenue par mise en solution du copolymère amphiphile dans un solvant organique et mise en 25 présence de cette solution avec un liquide aqueux.

3 - Suspension selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que :

- les AAI sont des acides aminés hydrophiles AAI,
- le rapport AHC/AAI est supérieur à 0,1
- 30 - la longueur absolue du bloc PAHC est supérieure à 2 monomères, de préférence supérieure à 10 monomères, et plus préférentiellement comprise entre 20 et 60 monomères.

4 - Suspension selon l'une quelconque des revendications 1 ou 3, caractérisée en ce que le ou les blocs PAA à base d'AAI en comprennent au moins 5, de préférence au 35 moins 20, et plus préférentiellement encore au moins entre 30 et 100.

5 - Suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que les particules sont des « diblocs » PAHC/AAI.

5 6 - Suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que le ou les AAI est(sont) choisi(s) parmi des aminoacides à chaîne latérale ionisable, les aminoacides naturels Glu et Asp sous forme carboxylique et/ou sous forme de sels étant particulièrement préférés.

10 7 - Suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle est aqueuse et stable.

8 - Solide pulvérulent, caractérisé en ce qu'il est obtenu à partir de la suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

15 9 - Procédé de préparation du solide pulvérulent selon la revendication 8, caractérisée en ce que :

20 -1)- on met en œuvre ou on prépare par polymérisation de monomères d'acide(s) α-hydroxycarboxylique(s)-de préférence acide lactique ou glycolique- au moins un bloc polymère PAHC (de préférence de PAL ou PAG); ce bloc PAHC étant fonctionnalisé (avantageusement à au moins l'une de ses extrémités) par au moins un groupement réactif protecteur, de préférence choisi dans le groupe comprenant la BOC-éthanolamine, BOC-aminopropanol (BOC = ButOxyCarbonyle) ;

25 -2)- on déprotège le bloc polymère PAHC de l'étape -1)- ;

30 -3)- on réalise une copolymérisation de monomères formés par des anhydrides de N-CarboxyAminoacides (NCA) d'amino-acides hydrophiles AAI et/ou par des anhydrides de N-CarboxyAminoacides (NCA) précurseurs d'amino-acides hydrophiles AAI et porteurs de groupements protecteurs, en présence d'au moins un solvant organique, de préférence choisi dans le groupe comprenant : la N-MéthylPyrrolidone (NMP), le DiMéthylFormamide (DMF), le DiMéthylsulfOxyde (DMSO), le DiMéthylAcétamide (DMAc), la pyrrolidone et le dichlorométhane ; ce dernier étant plus particulièrement préféré ;

- 4)- on ajoute le bloc polymère PAHC déprotégé de l'étape -2)- au milieu de polymérisation du bloc de poly-AAI, avant, pendant ou après la polymérisation;
- 5 -5)- éventuellement on déprotège les précurseurs d'amino-acides hydrophiles AAI pour obtenir un ou plusieurs blocs polyAAI ;
- 10 -6)- on précipite le copolymère bloc PAHC-polyAAI obtenu à l'issue des étapes précédentes ;
- 15 -7)- on met en solution le précipité de copolymère bloc PAHC-polyAAI obtenu à l'étape -6)- et on met en présence cette solution avec un liquide contenant au moins un non-solvant du copolymère bloc PAHC-polyAAI, de préférence l'eau, ce liquide ayant un pH choisi de telle sorte que les AAI du copolymère bloc PAHC-polyAAI soient au moins en partie ionisés ;
- 20 -8)- éventuellement on associe au moins un principe actif PA hydrophile avec les particules ;
- 25 -9)- éventuellement on purifie la suspension de l'étape -7)- ;
- 10)- éventuellement on concentre la suspension de l'étape -7)- ;
- 25 -11)- on élimine le milieu liquide pour recueillir le solide pulvérulent comprenant les particules.

10 - Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que, le ou les bloc(s) PAHC fonctionnalisé(s) est (sont) introduit(s) avant et/ou au début de la polymérisation, qui se déroule de préférence à une température comprise entre 20 et 120°C à pression atmosphérique normale.

11 - Procédé de préparation de la suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'on met en présence d'un milieu aqueux non-solvant des AAI, le solide pulvérulent selon la revendication 8 et/ou le solide pulvérulent obtenu par le procédé selon la revendication 9 ou 10.

12 - Procédé de préparation de la suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes 1 à 7 et éventuellement 8 et/ou 9 et/ou 10 du procédé selon la revendication 9.

5 13 - Procédé de préparation de la suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'on effectue l'association du **PA** hydrophile aux particules, par mise en présence d'une phase liquide contenant ledit **PA** hydrophile avec la suspension colloïdale de particules.

10 14 - Procédé de préparation de la suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'on effectue l'association du **PA** hydrophile aux particules par mise en présence dudit **PA** à l'état solide avec la suspension colloïdale de particules.

15 15 - Procédé de préparation de la suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'on met en présence le solide pulvérulent selon la revendication 8 et/ou le solide pulvérulent obtenu par le procédé selon la revendication 9, avec une phase liquide contenant le **PA** hydrophile.

20 16 - Procédé de préparation de la suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'on met en présence le solide pulvérulent selon la revendication 8 et/ou le solide pulvérulent obtenu par le procédé selon la revendication 9, avec le **PA** hydrophile sous forme solide et en ce que l'on disperse ce mélange de solides dans une phase liquide, de préférence une solution aqueuse.

25 17 - Produits intermédiaires du procédé selon la revendication 9 ou 10, caractérisés en ce qu'ils sont constitués par des copolymères PAHC-polyAAI, de préférence polylactique ou glycolique-polyAAI.

30 18 - Suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 et/ou obtenue par le procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 16 et/ou solide pulvérulent selon la revendication 8 comprenant un moins un principe actif hydrophile choisi, de préférence, parmi :

- les vaccins ;
- les protéines et/ou les peptides, parmi lesquels les plus préférentiellement retenus sont : les hémoglobines, les cytochromes,

les albumines, les interférons, les antigènes, les anticorps, l'érythropoïétine, l'insuline, les hormones de croissance, les facteurs VIII et IX, les interleukines ou leurs mélanges, les facteurs stimulants de l'hématopoïèse ;

- 5 ○ les polysaccharides, l'héparine étant plus particulièrement sélectionnée ;
- les acides nucléiques et, préférablement, les oligonucléotides d'ARN et/ou d'ADN ;
- des molécules non peptido-protéiques appartenant à diverses classes de chimiothérapie anti-cancéreuses et, en particulier, les anthracyclines et les taxoïdes ;
- et leurs mélanges.

10 **19 - Spécialité pharmaceutique, nutritionnelle, phytosanitaire ou cosmétique, caractérisée en ce qu'elle comporte une suspension selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 et/ou obtenue par le procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 16 et/ou du solide pulvérulent selon la revendication 8.**

20

1/2

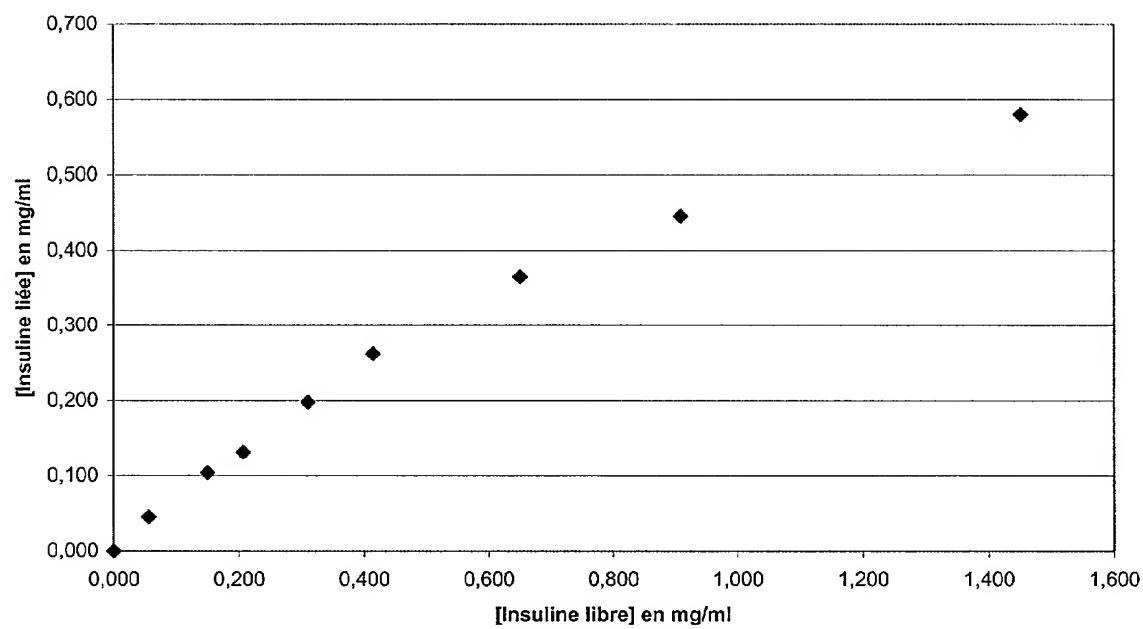
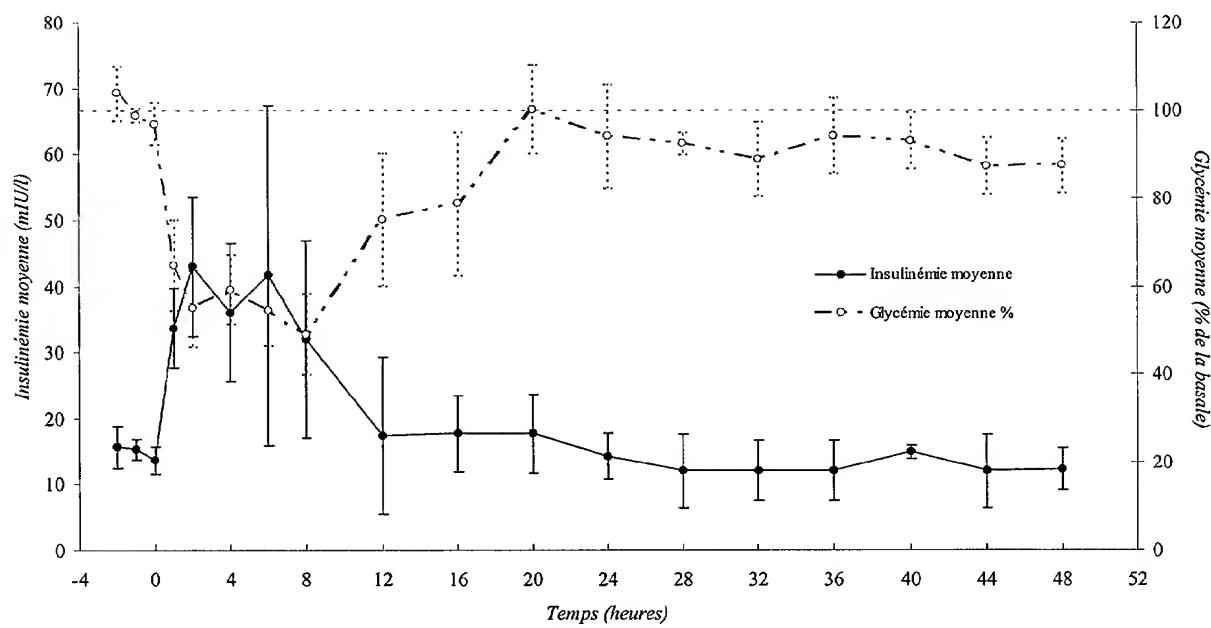


Figure 1

2/2

**Figure 2**

2838964

N° d'enregistrement
nationalFA 619424
FR 0205312
**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche**DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS**

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
D, A	GONSALVES K E ET AL: "SYNTHESIS AND SURFACE CHARACTERIZATION OF FUNCTIONALIZED POLYACTIDE COPOLYMER MICROPARTICLES" BIOMATERIALS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS BV., BARKING, GB, vol. 19, no. 16, 1 août 1998 (1998-08-01), pages 1501-1505, XP000668516 ISSN: 0142-9612 * le document en entier * ---	1-19	A61K9/14
A	FR 2 786 098 A (FLAMEL TECHNOLOGIES SA) 26 mai 2000 (2000-05-26) * le document en entier * ---	1-19	
A	WO 02 28521 A (FLAMEL TECHNOLOGIES) 11 avril 2002 (2002-04-11) * abrégé * -----	1-19	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.Cl.7)
			A61K
1	Date d'achèvement de la recherche 10 janvier 2003	Examinateur Benz, K	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
EPO FORM 1503 12/99 (PoAC14)			

2838964

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0205312 FA 619424**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 10-01-2003

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
FR 2786098	A	26-05-2000	FR	2786098 A1	26-05-2000
			AU	1278000 A	13-06-2000
			EP	1131056 A1	12-09-2001
			WO	0030618 A1	02-06-2000
			JP	2002530323 T	17-09-2002
WO 0228521	A	11-04-2002	FR	2814952 A1	12-04-2002
			AU	9396001 A	15-04-2002
			WO	0228521 A1	11-04-2002

EPO FORM P0465